

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-142008

(43)Date of publication of application : 25.05.2001

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

(21)Application number : 2000-294499

(71)Applicant : AGILENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 27.09.2000

(72)Inventor : FOUQUET JULIE E

(30)Priority

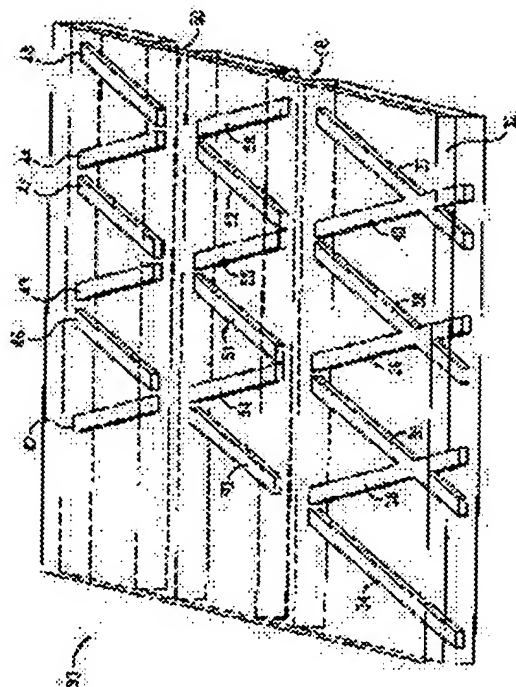
Priority number : 1999 407542 Priority date : 28.09.1999 Priority country : US

(54) OPTICAL SWITCHING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical switching element which has low insertion loss, low crosstalk, high scalability and long-term reliability and enables optical switching.

SOLUTION: The optical switching element has a waveguide substrate 32, first and second optical transmission waveguides 34 to 40, 42 to 44, 46 to 48, 50 to 52 and 54 to 56 which are formed by clad layers extending along the waveguide substrate for cores and grooves 58 and 60, movable devices 62, 64, 66 and 68 which have first positions and second positions with respect to these grooves and actuators 70, 72 and 74 which operate these movable devices between the first positions and the second positions.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-142008

(P2001-142008A)

(43) 公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 2 B 26/08

識別記号

F I
G 0 2 B 26/08

テマコード* (参考)

E

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-294499 (P2000-294499)

(22) 出願日 平成12年9月27日 (2000.9.27)

(31) 優先権主張番号 09/407542

(32) 優先日 平成11年9月28日 (1999.9.28)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク

AGILENT TECHNOLOGIES, INC.

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395

(72) 発明者 ジュリー・イー・フォークェット

アメリカ合衆国 カリフォルニア州, ポートラ・バレー, ヒルブルック・ドライブ 48

(74) 代理人 100105647

弁理士 小栗 昌平 (外4名)

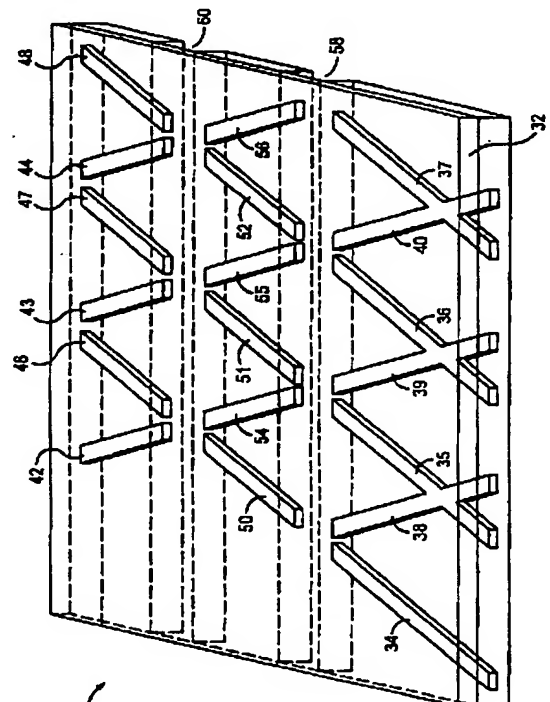
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学的スイッチング素子

(57) 【要約】

【課題】 低挿入損失、低クロストーク、高スケラビリティで長期間の信頼性を備えた、光学的なスイッチングを可能とする光学的スイッチング素子を提供すること。

【解決手段】 光学的スイッチング素子は、導波路基板32と、コアおよび溝58および60に対して前記導波路基板に沿って延びるクラッド層により形成された第1および第2の光伝送導波路34~40, 42~44, 46~48, 50~52および54~56と、前記溝に対して第1の位置および第2の位置を備えた移動可能なデバイス62, 64, 66および68と、前記第1の位置と前記第2の位置との間で前記移動可能なデバイス进行操作するアクチュエータ70, 72および74と、を備えている。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 導波路基板（32；78；104；および152）と、

コアおよび溝（58および60；76；102；および120）に対して前記導波路基板に沿って延びるクラッド層により形成された第1および第2の光伝送導波路であって、前記第1および第2の導波路間の光学的結合が、前記溝において示される光学的な特性に依存するように配置されている第1および第2の光伝送導波路（34～40，42～44，46～48，50～52および54～56；82，84，86，88，90および92；106および108）と、

前記溝に対して第1の位置および第2の位置を備えた移動可能なデバイスであって、前記第1および第2の導波路が、前記移動可能なデバイスが前記第2の位置にあるとき、光学的に結合され、また、前記移動可能なデバイスが前記第1の位置にあるとき、光学的に分離される移動可能なデバイス（62，64，66および68；100および110；116および118）と、

前記第1の位置と前記第2の位置との間で前記移動可能なデバイスを操作するアクチュエータ（70，72および74；94および96；112および114）と、を備えてなることを特徴とする光学的スイッチング素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学的スイッチング素子に関する。

【0002】

【従来の技術】電気通信ネットワークおよびデータ通信ネットワークにおける信号の交換は、電線を介した電気信号の伝送によって行われてきたが、このデータ交換の代替媒体は、光ファイバを介した光信号の伝送である。本願の出願人に譲渡されているFouquet他の米国特許第5,699,462号は、多数の平行な入力光ファイバの1本から多数の平行な出力光ファイバの1本に光信号を送るのに用いられるスイッチング・マトリックスを開示している。1個のスイッチング素子10を図1および図2に示す。導波路は、基板12上に下部クラッド層、コア、上部クラッド層を被着形成することにより製造される。スイッチング素子は、第1および第2の入力導波路14および16と、第1および第2の出力導波路18および20を含んでいるものとして示されている。コア材料は、基本的には二酸化シリコンであるが、コアの屈折率に寄与するその他の材料を含んでいる。クラッド層は、コア材料の屈折率より十分低い屈折率の材料から形成されているので、光信号はコア材料に沿って導かれる。

【0003】溝22が、コア材料をつき抜けてクラッド層およびコアが形成されているシリコン基板にエッチングにより形成されている。導波路は、溝が蒸気あるいは

気体により充填されているとき、内部全反射（TIR）の臨界角よりも大きな入射角で溝と交差する。溝22の一つの壁は、導波路14～20の交差点において交差している。従って、TIRは、屈折率整合液が第1の入力導波路14と第1の出力導波路18との間のギャップに配置されていないときは、第1の入力導波路14から第2の出力導波路20に光を転換させる。溝内の液体は、コア材料の屈折率にほぼ整合する屈折率を備えている。使用可能な液体は、イソプロピルアルコールとグリセロールの組み合わせである。M-ピロールも使用可能である。

【0004】図1および図2の従来例において、2個のマイクロヒータ24および26が、液体含有溝22内のバブル28の位置を制御している。スイッチング素子10の動作において、このマイクロヒータの一つが、気体バブルを形成するのに十分高い温度をもたらす。これが一旦形成されると、マイクロヒータに対する電流は低減され、バブルは所定の位置に維持される。図1において、バブルは、コア導波路14～20の交差点に配置されている。その結果、第1の入力導波路14に沿った入力信号は、溝22の壁に達したとき屈折率の不整合に遭遇する。TIRは、入力信号を第2の出力導波路20に向けて転換させる。かくして、スイッチング素子は、図1では反射状態で示されている。マイクロヒータ24の動作は、交差点におけるバブルを押さえつけるので、このマイクロヒータが動作している限りは反射状態が維持されることになる。

【0005】図2においては、導波路14～20の交差点におけるマイクロヒータ24は、非動作状態とされており、第2のマイクロヒータ26が動作状態とされている。バブル28は、この動作状態にあるマイクロヒータに強く引きつけられる。これにより、屈折率整合液が、導波路の交差点にあるギャップを充填することが可能となる。スイッチング素子は、第1の入力導波路14が同一直線上にある第1の出力導波路18に光学的に連結されているので、透過状態にある。さらに、第2の入力導波路16は、同一直線上にある第2の出力導波路20に光学的に結合されている。

【0006】図1および図2は、スイッチング素子の溝内で液体を操作する一つの可能なアプローチを示しているに過ぎない。その他のアプローチは、上述したFouquet他の米国特許に記載されている。例えば、単一のヒータが、導波路の交差点において屈折率整合液を気化するのに用いられ、反射状態から透過状態にスイッチング素子を切り換えている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】信号路の制御のためにバブル操作を用いるスイッチング・マトリックスの試験は、非常に好ましい成果を生み出した。しかしながら、長期間の信頼性（例えば、25年間の動作）のための試験は完了しておらず、特に、大規模なスイッチング・マ

トリックスにおいては完了していない。その結果、電気通信あるいはデータ通信ネットワークにおいて信号を送送するためのパブル操作によるアプローチには、まだいくつかの問題がある。その他のタイプの光学的なスイッチで市販されているものはあるが、コスト効果、大きさ、性能、あるいは長期間の信頼性などにおいていくつかの難点がある。

【0008】本発明は、このような従来の問題点に鑑みて為されたものであり、低挿入損失、低クロストーク、高スケーラビリティで長期間の信頼性を備えた、光学的なスイッチングを可能とする光学的スイッチング素子を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】プレーナ光波回路のための光学的スイッチング素子は、導波路基板を有しており、少なくとも2本の光伝送導波路が、コア層を備えて基板に沿って溝に達しており、よって、導波路間の光学的な結合は、この溝において示される光学的特性に依存している。移動可能な部材は、溝に対して移動され、この移動可能な部材が第1の位置にあるとき、選択された一对の導波路が光学的に結合され、また、移動可能な部材が第2の位置にあるとき、同じ導波路の対が光学的に分離される。好ましい実施形態においては、移動可能な部材は、微小反射鏡であって、第1の入力導波路が第1の出力導波路に光学的に結合される第2の位置（非反射位置）と、第1の入力導波路が第2の出力導波路に光学的に結合される第1の位置（反射位置）との間で操作される。

【0010】光学的スイッチング素子のいくつかの実施形態においては、溝内に液体を用いていない。溝の壁において導波路の入射角は、内部全反射（TIR）に必要な臨界角を下回らなければならないようにされている。その結果、光信号は、微小反射鏡が反射状態にあるとき微小反射鏡によって反射されるように溝内に入ることができる。溝内の空気と入出力導波路との境界に生じる光線の曲がり（すなわち、屈折）の結果、溝の両側の導波路は平行でなければならない、オフセットはスネルの法則を用いて計算される。単方向の反射は、空気の充填されている溝の側壁に反射防止コーティングを施すことによって低減され、その結果得られるスイッチング素子は、損失やクロストークを受けにくい。一方を各偏光成分のために設けた2個の交差接続スイッチング・アレイを用いると、溝に対する導波路の入射角は、この場合は約 34° になるブルースター角になるように選ばれる。これにより、二つの偏光の一方のための液体を含まない溝における導波路／空気間の境界からの反射をほとんど除去することができる。

【0011】その他の実施形態においては、溝は、通常、液体により充填されている。これらの実施形態においては、溝に対する導波路の入射角は、広い範囲にわた

る値を持つことができる。しかしながら、実際には、大きな角度は溝内に長い光路長を生み出す傾向にあるので、非常に大きな入射角は避けることが好ましい。光信号は溝内を伝播するときガイドされないので、長い光路長は発散による大きな挿入損失を招く。

【0012】反射位置と非反射位置との間の反射鏡の移動は、導波路基板の主面に直交する方向に行われ得る。例えば、変形されたマルチピン・ドット・マトリックス・プリンタ・エンジンを使用することができる。あるいは、最近市販されているマイクロエレクトロメカニカル・システム（MEMS）アクチュエータは、基板面に直交する方向に移動可能であり、微小反射鏡を移動させるのに使用することができる。より一般的なMEMSアクチュエータは、溝の軸に平行な方向に反射鏡を操作するのに使用することができる。このようなアクチュエータは、図1および図2に関して説明されたタイプの光学的スイッチング素子に用いられている屈折率整合液のような非導電性液体の存在の下に機能することができる。最近の静電的なアクチュエータ技術は、約 $25\mu\text{m}$ の範囲の移動に制限されているので、微小反射鏡を $16\mu\text{m}$ 幅の導波路を横切って溝に沿って $32\mu\text{m}$ 長の交差長から外すためには適切ではない。従って、静電的なアクチュエータを用いる試みは、大きな「動程」を備えた新たな種類のアクチュエータの選択、あるいは、反射鏡が $25\mu\text{m}$ 以上移動する必要のない $12.5\mu\text{m}$ 幅以下の導波路の横切る溝内に適合する反射鏡とアクチュエータとの組み合わせを必要としている。

【0013】導波路は、溝に近づくに従って広がるのが好ましい。広がり、熱の出入りがないことが理想的である。すなわち、傾斜している導波路の断面積は、距離に応じて徐々に変化していかなければならず、導波路の最低次元のローカル・ノーマル・モードは、パワーの累積的な転移を生じることなく傾斜領域を介してより高次元のローカル・ノーマル・モードに伝播する。溝において、導波路の大きさは、アクチュエータの必要な動程を決定する一つの因子であり、微小反射鏡の最小の大きさを決める一つの因子である。その他の因子は、導波路の溝壁に対する入射角であり、液体を用いない光学的スイッチング素子は、移動が小さくかつ小さな微小反射鏡を必要とする（液体を用いない光学的スイッチング素子は、より小さな入射角を有するので）。

【0014】

【発明の実施の形態】図3において、プレーナ光波回路30は、導波路基板32を備えているものとして示されている。導波路基板は、シリコン・チップであることが好ましいが、シリカ等の他の材料を用いることもできる。

【0015】プレーナ光波回路30の一端には、4本の入力導波路34、35、36および37が配置されている。回路の同じ側には、3本の出力導波路38、39お

および40が配置されている。出力導波路の数は、入力導波路の数に合致するのが典型的であるが、図3は、ワーキング・モデルを図示するのが目的ではなく、本発明の原理を説明することを意図している。

【0016】プレーナ光波回路30の他端には、3本のアッド導波路42、43および44と、3本のドロップ導波路46、47および48が配置されている。回路の後端におけるドロップ導波路46～48の数は、回路の前端における入力導波路34～37の数に合致するのが典型的である。同様に、後端のアッド導波路42～44の数は、前端の出力導波路38～40の数に合致するのが典型的である。しかしながら、図面中の構成要素の数は、回路を分かり易く説明する都合上、減らされている。回路の両端における導波路に加えて、6本の中間入力導波路50、51、52、54、55および56が設けられている。導波路の各々は、第1の屈折率を定めるために、Geあるいは TiO_2 （および可能ならば、 B_2O_3 および/あるいは P_2O_5 ）がドーピングされた SiO_2 のようなコア材料から形成されている。図3においては別々に示されていないが、導波路からの光エネルギーの脱出を遅延させるための上部および下部のクラッド層を設けるのが一般的である。クラッド材料は、基本的には、やはり SiO_2 であるが、第1の屈折率とは異なる第2の屈折率を定めるために、 B_2O_3 および/あるいは P_2O_5 のようなドーパントを添加することができる。屈折率の差のために、光信号は導波路コアに沿ってガイドされる。

【0017】図3の導波路は、従来の集積回路製造技術あるいはフレーム加水分解被着を用いて形成することができる。コア材料は、写真平版あるいはその他のアプローチによりパターン化される。パターン化の最中あるいはその後のいずれかに、一對の溝58および60が、中間の導波路50～56と前端および後端の導波路34～48との交差点に形成される。導波路間の光学的な結合は、この交差点における部分的な光学的特性に依存している。例えば、入力導波路34に沿った入力信号は、導波路34と50との間の部分的な領域が透過状態にあるとき、中間の導波路50に入る。一方、入力導波路34に沿って伝わる入力信号は、これらの導波路の交差点の領域が反射状態にあるとき、出力導波路38に反射される。入力導波路34および出力導波路39と整合している部分的な領域が共に透過状態にあるが、中間の導波路50および54の交差点が反射状態にあるときは、入力導波路34を経由して受けた信号は、中間の導波路50に入り、中間の導波路54に反射され、出力導波路39から出てくる。従って、追加のレベルの中間導波路を設けることによって（すなわち、導波路46から導波路43に光信号を反射する溝まで導波路43および46を延ばすことによって）、入力導波路34を介して受けた信号を、3本の出力導波路38、39および40のいずれ

かに導くことができる。

【0018】信号操作のフレキシビリティの向上は、アッド・ポート42～44およびドロップ・ポート46～48をそれぞれ二次的な入力ポートおよび出力ポートとして、一次的な入力および出力ポート34～40が互いに光学的に結合されているときに用いることにより達成される。従って、中間の導波路50および54の接続部分における溝が反射状態にあるときは、アッド・ポート42に導かれる光信号は、反射され、ドロップ・ポート46に導かれる。しかしながら、導波路50および54ならびに導波路42および46の接続部分における透過/反射の状態を決定するように制御される微小反射鏡の厚みはゼロではないので、微小反射鏡の片側が4本の導波路の交差点にあるときは、反対側は、その交差点からオフセットされることになる。マルチモード・アプリケーションは整合の不正確さについて許容度が大いので、フレキシビリティを高めようとするこの試みは、単一モード・アプリケーションにおけるよりもマルチモード・アプリケーションにおいて大きな効果を得ることができる。

【0019】図4および図5は、本発明の一実施形態を示すものである。図4において、移動可能な微小反射鏡62は反射位置にあり、同じ移動可能な微小反射鏡は図5においては透過位置にある。この実施形態においては、微小反射鏡は溝58に沿ってスライドする。しかしながら、好ましい実施形態を以下に説明する。図4の反射位置において、入力導波路35に沿った入力信号は、溝58に入り、微小反射鏡62の面で反射される。反射された光信号は、出力導波路39に入る。一方、図5の透過位置にある微小反射鏡の場合、入力信号は溝58に伝わって、中間導波路51から出て行く。結果として、微小反射鏡を操作することにより、光信号の方向が切り換えられることになる。

【0020】ここで説明する実施形態の各々には、二つのバージョンがある。第1のバージョンにおいては、溝には屈折率整合液が用いられない。第2のバージョンにおいては、各々の溝には、導波路35、39、51および54を形成するのに用いられるコア材料の屈折率と同様の屈折率を備えた液体が充填される。使用可能な液体は、イソプロピルアルコールとグリセロールの組み合わせである。M-ピロールも使用可能である。

【0021】図4の溝58に屈折率整合液が用いられないときは、導波路35、39、51および54の溝58の壁への入射角は、内部全反射（TIR）に必要な臨界角を下回らなければならない。TIRに必要な角度よりも小さな入射角により、入力光信号は、微小反射鏡62によって反射されるように溝58に入るか、あるいは微小反射鏡62が図5に示すように透過位置にあるときは溝の対向する壁を通過する。光線の曲がり（すなわち、屈折）の結果、溝内の空気と導波路との境界において、溝

の両側の導波路は図4および図5に示すように僅かに不整合となる。必要なずれ(オフセット)は、スネルの法則 $n_1 \sin \theta_{inc1} = n_2 \sin \theta_{inc2}$ によって計算することができる。空気充填の溝の側壁に反射防止コーティングを施すことによって不必要な反射を低減させることができるので、その結果得られるスイッチング素子は損失やクロストークを受けにくい。当該技術においては、反射防止コーティングは、導波路材料の屈折特性と溝内の雰囲気屈折特性との間の遷移を制御することができる。一方を各偏光成分のために設けた2個の交差接続スイッチング・アレイを用い、かつ初期の偏光成分を回転させたとき、溝に対する導波路の入射角は、この場合は約 34° になるブルースター角になるように選択することができる。これにより、屈折率整合液を用いない溝における導波路/空気間の境界からの反射がほとんどなくなり、従って、反射防止コーティングは不必要になる。

【0022】溝58が通常は屈折率整合液で充填されているバージョンにおいては、溝に対する導波路の入射角は、広い範囲の値を取ることができる。しかしながら、実際には、大きな入射角は溝内に長い光路長を形成する傾向にあるので、非常に大きな角度は避けることが好ましい。光信号は溝内を伝播するときガイドされないの、長い光路長は発散による大きな挿入損失を招く。

【0023】図4および図5の実施形態において、微小反射鏡62は、導波路35, 39, 51および54が構成されている基板32の主面に平行に移動する。摺動は、MEMSアクチュエータを用いることにより達成できる。このアクチュエータは、前述した屈折率整合液のような非導電性液体の存在の下に機能することができる。しかしながら、多くの現在入手可能な静電的なアクチュエータは、約 $25 \mu\text{m}$ と移動範囲が制限されているので、幅 $16 \mu\text{m}$ の導波路にまたがっている溝に沿って $32 \mu\text{m}$ 以上の長い交差長から反射鏡を除去するには不適切である。従って、静電的なアクチュエータを用いての摺動の試みは、改善された「動程」を備えたアクチュエータを選択するか、あるいは、導波路の幅が $12.5 \mu\text{m}$ 以下であって、溝に適合する微小反射鏡とアクチュエータの組み合わせを選択して、微小反射鏡が $25 \mu\text{m}$ 以上動かないで済むようにしなければならない。しかしながら、図11を参照して後述するように、少なくとも導波路/溝間の境界において広い導波路を持つことに利点がある。

【0024】微小反射鏡の摺動についての変形例として、図6および図7の実施形態は、導波路が形成される基板の主面に直交した微小反射鏡の移動を利用している。変形されたマルチピン・ドット・マトリックス・プリンタ・エンジンをを用いることで履行可能である。図6において、3個の微小反射鏡64, 66および68が、ピン70, 72および74の独立した操作によって定められる位置を占めている。第1および第3の微小反射鏡

64および68は、下方の透過位置に示されている。一方、中央の微小反射鏡66は、反射位置まで上昇させられている。反射位置において、微小反射鏡66は、導波路基板78の下方の面に沿って溝76に延びている。微小反射鏡66は入力および出力導波路と同じレベルにあるので、入力導波路に沿って伝播する光信号は、微小反射鏡の面で反射される。反射されたエネルギーは、入力導波路と同じ側にある適切に整合が図られている出力導波路に入射する。

【0025】特に図7において、下げられた微小反射鏡64は、入力導波路82および出力導波路84の交差点との整合が外れている。結果として、入力導波路に沿って伝播する光信号は、溝76に入り、ドロップ導波路86を経由して出て行く。同様に、光信号がアッド導波路88に沿って伝播するときは、該信号は出力導波路84に入る。ピン70が溝76内に微小反射鏡64を配置するように上方に移動させられると、入力導波路82に沿った入力信号は、微小反射鏡64の面で反射されて、出力導波路84に入る。図6において、端部の微小反射鏡68の上方には、導波路90および92が配置されている。導波路90は、図6および図7のアッド導波路88に等しい機能を有しており、導波路92は、ドロップ導波路86に等しい機能を有している。

【0026】従来のマルチピン・ドット・マトリックス・プリンタ・エンジンのピン間隔は、図6に示されるスイッチング素子間の好ましい間隔よりも大きい。 $250 \mu\text{m}$ のピッチが、隣接する導波路間の好ましい間隔である。

【0027】図4～図9の実施形態には、アクチュエータが製造され、および/あるいは制御される基板は示されていないが、アクチュエータ基板は、従来の技術により導波路基板に接続されている。2枚の基板の結合により、屈折率整合液が溝内に充填されるときこれらの溝を包囲する手段がもたらされる。

【0028】本発明の他の実施形態を、図8に示す。この実施形態において、アクチュエータ94および96は、ストレス誘導カーリングおよび静電的駆動を用いた曲げの技術を採用している。アクチュエータは、アクチュエータ基板98上に形成されている。ストレス誘導カーリングおよび静電的駆動の使用可能な機構としては、Ming Wu 他による“Optical Fiber Communications Conference”, 1999年2月にその一つが開示されている。結果として得られるスイッチは、プレーナ光波回路を伝播する光信号に対する完全な出入りの移動のための適切な動程(すなわち、反射位置と透過位置との間の十分に大きな距離を移動する)を有している。Ming Wu 他によるアクチュエータは、フリースペース・アプリケーションに関連して述べられている。フリースペース構造において、発散の結果、スケーラビリティには困難な問題がある。例えば、ガウス光束が $175 \mu\text{m}$ の小さな寸

法(d)を備えた微小反射鏡内に適合させられるときは、当初のスポット・サイズ w_s は、 $w_s = d/2 = 8.5 \mu\text{m}$ でなければならない。最長の伝播距離を達成するためには、光学系は、この最長距離の中間の位置において $w_0 = w_s/2^{1/2} = 61.9 \mu\text{m}$ のスポット・サイズに焦点調節しなければならない。そのとき、光信号は、最長の光路としてレイリー領域 $Z_R = \pi w_0^2/\lambda = 0.78 \text{ cm}$ の2倍以上の距離を伝播することができる。微小反射鏡の間隔が 0.1 cm であるときは、スイッチ・アレイは、各方向に7あるいは8ユニットを設けることができ、低い光学的損失が要求されるときは、最大 8×8 のサイズとなる。大きなスイッチは高い損失（および反射鏡上の光束の散乱による大きなクロストーク）を伴って製造されるが、考慮中のほとんどのアプリケーション（電気通信および試験/測定）には高い光学的性能が要求される。大きな反射鏡が構成されても、使用される大きな光束は、損失を低く維持するために極めて厳しい角度制御を受けなければならない。しかしながら、ここで述べられたプレーナ光波回路を用いることによって、発散を生じる光路長は、交差点当り十分に短くすることができるので（例えば、 1 mm に対して $10 \mu\text{m}$ ）、十分大きなスイッチを構成することが可能となる。

【0029】図8には、微小反射鏡100が導波路基板104の溝102の外側に位置している弛緩している状態にある第1のアクチュエータ94が示されている。溝102の外側にある微小反射鏡100により、光信号は、露出した導波路106および108により示されているように、溝を自由に伝播する。一方、第2のアクチュエータ96は駆動されており、ストレス誘導カーリングが、微小反射鏡110を溝102に移動させている。図示されていないが、微小反射鏡110は、第1の入力導波路から出力導波路に光信号を反射する位置にある。第2のアクチュエータ96が弛緩させられると、微小反射鏡110は溝から外れて、溝を介した伝播が可能になる。

【0030】プレーナ光波回路およびMing Wu 他によって述べられているアクチュエータを用いて交差接続マトリックスを構成するためには、導波路基板104およびアクチュエータ基板98が、精密に整合させられるとともに位置決めされなければならない。光ファイバおよび/あるいは球状レンズが、シリコンにウエットエッチングが施された溝および/あるいは孔に配置される。相補的なスロットが、溝102を形成するエッチング工程中に導波路基板にエッチングにより形成される。これらの特徴は、レジストレーション素子として使用することができる。

【0031】微小反射鏡100および110は、上方の反射鏡面が、微小反射鏡110によって示されているように、アクチュエータが反射鏡を反射位置に配置すると

きに導波路基板104の表面に接触するように構成されている。図8に示されているプレーナ光波回路のバージョンは、溝102内にまた2枚の基板98および104間の領域内に屈折率整合液を充填しているものである。しかしながら、アクチュエータ94および96は、屈折率整合液を用いないアプリケーションに使用することもできる。

【0032】アクチュエータ94および96が所望のピッチ（例えば、光ファイバ・リボン・ケーブルのファイバ・ピッチに適合する所望の $250 \mu\text{m}$ アクチュエータ・ピッチ）を収容するには大きすぎるときは、図9に示すように溝に対してアクチュエータの配置を傾斜させることができる。2個のアクチュエータ112および114は、溝120に対する微小反射鏡116および118の位置を制御する。微小反射鏡は、アクチュエータのカーブと直線化に対応して溝120に対して出入りするよう移動する。微小反射鏡は、入力導波路122および124と出力導波路126および128の交差点に配置されている。溝120の反対側には、アッド導波路130および132ならびにドロップ導波路134および136が、配置されている。図9に示すバージョンにおいては、溝120内に屈折率整合液は用いられていない。そのために、溝の垂直な壁138および140には反射防止コーティングが施されることが好ましい。

【0033】微小反射鏡116が、導波路122および126の交差点から外れている透過位置にあるときは、入力導波路122は、ドロップ導波路134に光学的に結合されている。その上、アッド導波路130は、出力導波路126に光学的に結合されている。引き続いて、アクチュエータ・アーム112をカールさせることによって、微小反射鏡116は、導波路122および126の交差点においてその反射位置を占めるよう移動される。入力導波路122に沿って伝わる入力信号は、微小反射鏡116の面により反射され、出力導波路126から射出される。

【0034】図10は、4枚のファイバ・アレイ基板154, 156, 158および160に取り付けられた導波路基板152を示している。図10の上面図には示されていないが、導波路基板と各ファイバ・アレイ基板との間の境界は、基板152上の導波路と基板154, 156, 158および160上の光ファイバとの間の反射の大きさを小さくするように考えられた角度を持つように傾斜させることができる。微小反射鏡を備えたアクチュエータ基板は、図10には示されていない。

【0035】導波路基板152は、4本の入力導波路162, 164, 166および168と、4本のアッド導波路170, 172, 174および176と、4本のドロップ導波路178, 180, 182および184と、4本の出力導波路186, 188, 190および192を備えている。さらに、スイッチング構成のフレキシビ

リティを向上させるために24本の間導波路が配置されている。入力導波路162をドロップ導波路184に光学的に結合するために、光信号は、3本の間導波路と、隣接する導波路間の4個の溝とを通過しなければならない。溝は、導波路の交差点において線194によって示されており、上述した実施形態のいずれにおけるものであってもよい。

【0036】導波路基板152がアクチュエータ基板に結合されており、図10に示されている最下方の溝194がその反射位置に微小反射鏡を備えているときは、導波路162からのいずれの入力信号も内部全反射により出力導波路192の方に方向を転換する。一方、最下方の溝に対する微小反射鏡が透過位置にあるときは、導波路162からの光信号は、溝から溝へと伝播していく。入力導波路162に整合している4個の微小反射鏡の位置により、導波路162からの入力信号は、4本の出力導波路186, 188, 190および192のいずれかの方に方向転換させられる。この手方は、導波路162に隣接している他の3本の入力導波路164, 166および168に適用することができる。

【0037】4枚のファイバ・アレイ基板154, 156, 158および160の各々は、4本の光ファイバ196, 198, 200および202を備えている。使用可能なピッチは、約250 μ mであるが、500 μ m等の他のピッチを用いることもできる。

【0038】導波路162~192は、溝194との境界における比較的大きな断面領域から光ファイバ196~202との境界における比較的小きな断面領域へ断熱的に傾斜させることが好ましい。溝における導波路の断面形状は、溝間に効率的な光学的結合を達成できるように選ばれている。一方、光ファイバとの境界における断面形状は、光ファイバに対する高い結合効率を得られるように選ばれる。一実施形態においては、この断熱的な傾斜は、16 μ m幅 \times 8 μ m高さの導波路コア断面形状から8 μ m四方の断面形状である。しかしながら、他の実施形態を考慮することも可能である。断熱的な傾斜が、図11に示されている。4個の導波路コア162~168の各々は、傾斜領域210を備えており、この領域で導波路コアの側壁は、導波路基板152のエッジ212から距離を持って離れている。各々の導波路コアは、また、側壁が平行である内部領域214を備えている。エッジ212付近の各導波路コアの領域には、平行な側壁を形成することも任意にできるので、傾斜領域210は、二つの一定幅の領域間に位置する中間領域とすることもできる。

【0039】プレーナ光波回路の断熱的に拡大する導波路コアは、溝にまたがる伝達損失が低減されるという利点を有している。しかしながら、角度的な整合の必要性が、このプレーナ光波回路を形成する際には重視される。実際、位置的な整合（おそらく、溝の側壁に直交す

る方向におよそ1 μ m以内）よりも所望の角度的な整合（おそらく、1°以内）を達成することが困難であると判断されたときは、非拡大のコアを用いることが推奨される。

【0040】以下に、本発明の実施形態を要約しておく。

1. 導波路基板(32; 78; 104; および152)と、コアおよび溝(58および60; 76; 102; および120)に対して前記導波路基板に沿って延びるクラッド層により形成された第1および第2の光伝送導波路であって、前記第1および第2の導波路間の光学的結合が、前記溝において示される光学的な特性に依存するように配置されている第1および第2の光伝送導波路(34~40, 42~44, 46~48, 50~52および54~56; 82, 84, 86, 88, 90および92; 106および108)と、前記溝に対して第1の位置および第2の位置を備えた移動可能なデバイスであって、前記第1および第2の導波路が、前記移動可能なデバイスが前記第2の位置にあるとき、光学的に結合され、また、前記移動可能なデバイスが前記第1の位置にあるとき、光学的に分離される移動可能なデバイス(62, 64, 66および68; 100および110; 116および118)と、前記第1の位置と前記第2の位置との間で前記移動可能なデバイス进行操作するアクチュエータ(70, 72および74; 94および96; 112および114)と、を備えてなることを特徴とする光学的スイッチング素子。

【0041】2. 前記導波路基板(32; 78; 104; および152)上の前記コア層により形成された第3の光伝送導波路(34~40, 42~44, 46~48, 50~52および54~56; 82, 84, 86, 88, 90および92; 106および108)をさらに備えてなり、前記第3の導波路が、前記第1の導波路とは反対側の前記溝(58および60; 76; 102; および120)の片側で前記溝に交差し、前記第1および第3の導波路が、前記移動可能なデバイス(62, 64, 66および68; 100および110; 116および118)が前記第1の位置にあるとき、光学的に結合されるようにしたことを特徴とする前記1に記載の光学的スイッチング素子。

【0042】3. 前記移動可能なデバイス(62, 64, 66および68; 100および110; 116および118)が、微小加工された反射鏡であることを特徴とする前記1あるいは2に記載の光学的スイッチング素子。

【0043】4. 操作を行う前記アクチュエータ(70, 72および74; 94および96; 112および114)が、マイクロ・エレクトロメカニカル・システムであることを特徴とする前記3に記載の光学的スイッチング素子。

【0044】5. 前記微小加工された反射鏡(64, 66および68)が、十分な移動を行うために前記アクチュエータ(70, 72および74)により制御され、前記第1の位置が前記溝内にあり、かつ前記第2の位置が前記溝外にあるようにしたことを特徴とする前記3に記載の光学的スイッチング素子。

【0045】6. 前記微小加工された反射鏡(62; 100および110; 116および118)が、前記アクチュエータ(94および96; 112および114)により制御されて前記第1および第2の間で前記溝(58および60; 102; および120)内をスライドし、前記微小加工された反射鏡が前記溝内に残るようにしたことを特徴とする前記3に記載の光学的スイッチング素子。

【0046】7. 前記溝(58および60; 76; 102; および120)内に液体を設け、前記液体が、前記第1および第2の導波路(34~40, 42~44, 46~48, 50~52および54~56; 82, 84, 86, 88, 90および92; 106および108)の屈折率と同様の屈折率を備えていることを特徴とする前記1ないし6のいずれか1に記載の光学的スイッチング素子。

【0047】8. 導波路基板(32; 78; 104; および152)上に複数の光伝送導波路34~40, 42~44, 46~48, 50~52および54~56; 82, 84, 86, 88, 90および92; 106および108)を形成し、その際前記導波路の交差点に溝(58および60; 76; 102; および120)を形成して、離間された第1および第2の導波路に対する入力導波路の光学結合が、前記交差点の光学的特性に依存するようにする工程と、第1の位置と第2の位置との間で移動可能な微小反射鏡(62, 64, 66および68; 100および110; 116)を設ける工程と、前記交差点において前記第1の位置に前記微小反射鏡を移動させて前記入力導波路を前記第2の導波路に光学的に結合し、さらに、前記交差点から前記微小反射鏡を移動させて前記入力導波路を前記第1の導波路に光学的に結合して前記微小反射鏡を操作することにより前記入力導波路を切り換える工程と、を備えてなることを特徴と光信号送信方法。

【0048】9. 前記入力導波路を切り換える工程が、ドット・マトリックス・プリンタ・エンジンにおける印刷部材を操作するのに用いられる技術と等価な反射鏡移動技術を用いることを含んでいることを特徴とする前記8に記載の光信号送信方法。

【0049】10. 前記溝(58および60; 76; 102; および120)に液体を充填する工程をさらに備えてなることを特徴とする前記8あるいは9に記載の光信号送信方法。

【0050】

【発明の効果】上述した説明から明らかなように、本発明によれば、低挿入損失、低クロストーク、高スケールビリティで長期間の信頼性を備えた、光学的なスイッチングを可能とする光学的スイッチング素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】反射状態と透過状態とに切り換えるバブル操作技術を用いた従来のスイッチング素子の上面図であり、スイッチング素子は反射状態にある。

【図2】透過状態にある図1のスイッチング素子の上面図である。

【図3】本発明による移動可能な微小反射鏡を受け入れる溝を備えた導波路基板の斜視図である。

【図4】反射位置にある微小反射鏡を備えたスイッチング素子の上面図である。

【図5】透過位置にある微小反射鏡を備えた図4のスイッチング素子の上面図である。

【図6】本発明の一実施形態におけるスイッチング領域に直交して移動する微小反射鏡のアレイの側面図である。

【図7】図6のスイッチング素子の一つの斜視図である。

【図8】本発明の他の実施形態におけるMEMSアクチュエータによって微小反射鏡が移動される2個のスイッチング素子の側方断面図である。

【図9】本発明によるMEMSアクチュエータの他の実施形態の底面図である。

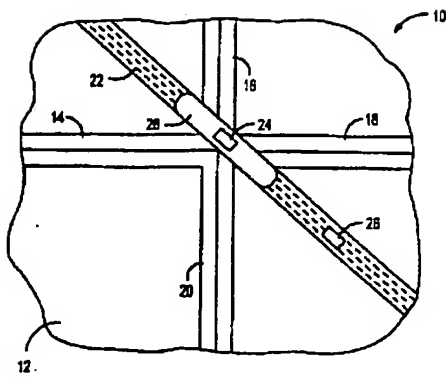
【図10】本発明によるスイッチング素子のマトリックスの上面図である。

【図11】図10の導波路の傾斜部分の上面図である。

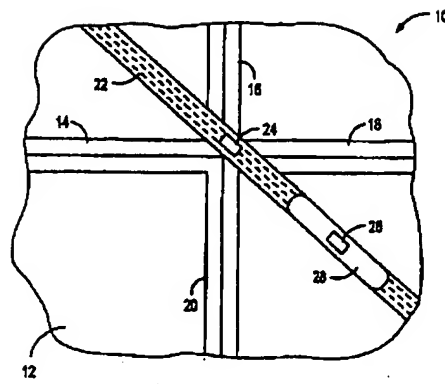
【符号の説明】

32, 78, 104, 152 導波路基板
34~40, 42~44, 46~48, 50~52, 54~56, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 106, 108 第1および第2の光伝送導波路
58, 60, 76, 102, 120 溝
62, 64, 66, 68, 100, 110, 116, 118 微小反射鏡(移動可能なデバイス)
70, 72, 74, 79, 96, 112, 114 アクチュエータ

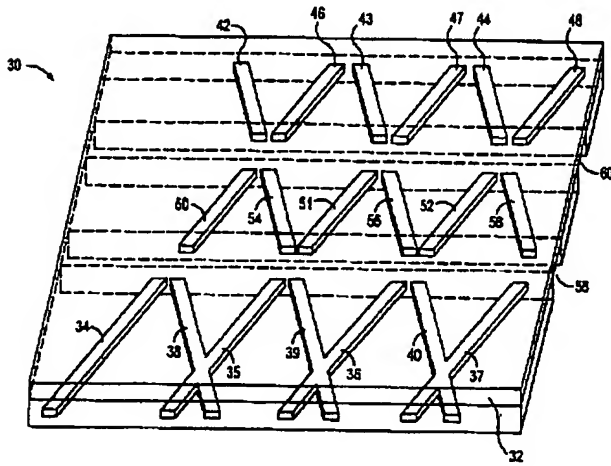
【図1】



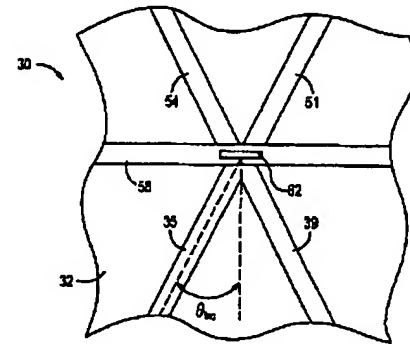
【図2】



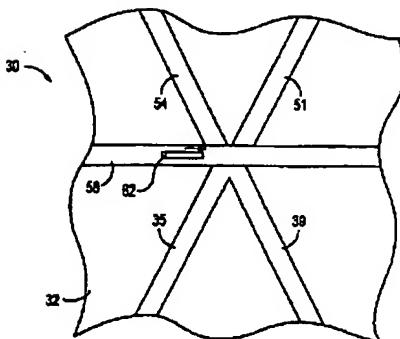
【図3】



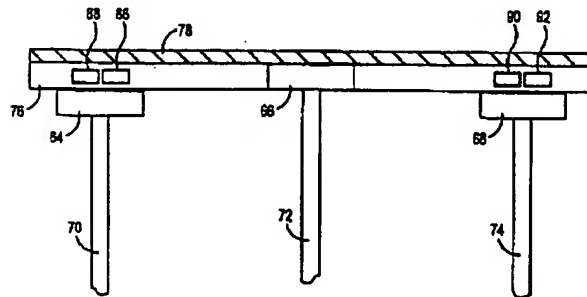
【図4】



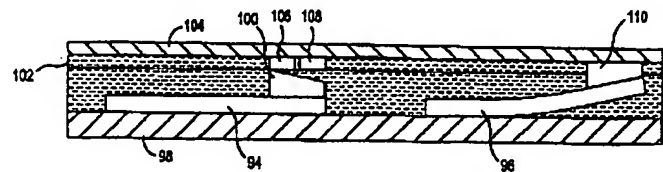
【図5】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(71)出願人 399117121

395 Page Mill Road P
alo Alto, California
U. S. A.

